

实验目的

- ① 了解霍尔效应实验原理及有关霍尔元件对材料要求的知识。
- ② 学习用“抵消法”消除副效应影响，测量试样的 $V_H - I_s$ 和 $V_H - I_m$ 曲线
- ③ 计算霍尔元件霍尔系数并确定试样的半导体类型。

实验原理 (1) 霍尔效应

通过电流的导体在垂直电流方向的磁场作用下，与电流和磁场垂直的方向上会形成电荷积累和出现电势差的现象称为霍尔效应。

在半导体试样中，若在与电流 I_s 垂直的方向加上磁场 B ，则载流子在洛伦兹力的作用下会向下发生偏转，从而在试样的上下两侧开始积累异号电荷而产生相应的附加电场 E_H ，电场的指向取决于试样的导电类型，显然该电场的作用是阻止载流子继续向侧面偏转，直至载流子所受的横向电场力 eE_H 与洛伦兹力 $e v B$ 相等时，样品两侧电荷的积累就达到平衡，故有 $eE_H = e v B$ 。设样品的宽为 b ，厚度为 d ，载流子浓度为 n ，则 $V_H = E_H b = I_s B / (n e d) = R_H I_s B / d = k_H I_s B$ $R_H = V_H / (I_s B)$

(2) 实验中产生副效应及消除方法

由于在产生霍尔效应的同时通常

伴随着各种副效应，因此实验测

得的试样上下两侧的电势差并不等于

真实的霍尔电压值 V_H ， V_0 是最典型的

一种，在其上下两侧设置两个对称的焊点 A 和 A' 进行测量，当有电流通过时，即使不加磁场会产生附加电压 $V_0 = I_s r$ 其中 r 为 A 和 A' 在的两个等势面之间的电阻而 V_0 只与 I_s 的方向有关与 B 方向无关。

除 V_0 外还存在由热效应和热磁效应所引起的各种副效应，不过除个别外，均可通过抵消法消除。

即： $+B, +I_s$ $V_{AA'} = V_1 = V_H + V_0$ $-B, +I_s$ $V_{AA'} = V_2 = -V_H + V_0$

$-B, -I_s$ $V_{AA'} = V_3 = V_H - V_0$ $+B, -I_s$ $V_{AA'} = V_4 = -V_H - V_0$

然后求出 V_1, V_2, V_3, V_4 的代数平均值为

$$V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4) / 4$$

通过以上测量方法，虽然不能消除所有的副效应，但其引入的误差不大，可以忽略不计。

(3) 载流子的激发：在半导体中构成电流的载流子可以是导电的电子，也可以是正电的空穴。热激发所产生的载流子浓度将与温度有密切关系，故半导体物理性质往往灵敏地依赖于温度。



实验仪器

霍尔效应测试仪, 霍尔效应实验仪, (温控电源, C型电磁铁, 双刀双掷开关盒, 霍尔组件)

实验步骤与数据记录

(1) 按仪器面板上的文字和符号提示依次将霍尔效应测试仪, 双刀双掷开关盒, C型电磁铁, 霍尔组件正确连接, 测量室温下N型霍尔组件的 R_H 和 n 。

① 将工作电流励磁电流流调节旋钮顺时针旋转到底, 使电流最大

② 将测试仪的电压量程调至高量程, 并将N型组件装配到C型电磁铁上。

③ 将测试仪上的 I_s, I_m 的输出端分别与N型组件1,3电极, C型电磁铁的 I_m 输入端 I_m 输入相连

④ 将测试仪上的 I_s, I_m 的输出端 I_H 输入端分别与双刀双掷开关盒上的 I_s, I_m 输入, N型组件的4, 2电极相连。

⑤ 接通电源, 预热5分钟, 记录下磁场与励磁电流的比例系数 C 及霍尔片的厚度 d 。

⑥ 保持 $I_m = 400 \text{ mA}$ 不变, 绘制 $U_H - I_s$ 曲线, 并计算室温下 R_H 和 n 。

$I_s (\text{mA})$	$U_1 (\text{mV})$ +B, + I_s	$U_2 (\text{mV})$ -B, + I_s	$U_3 (\text{mV})$ -B, - I_s	$U_4 (\text{mV})$ +B, - I_s	$U_H (\text{mV})$	$R_H (\text{m}^3/\text{C})$	$n (\text{m}^{-3})$
0.5	-21.3	20.9	-20.9	21.2	-21.075	-4.03774E-07	-1.53924E+25
1	-42.1	41.3	-41.3	42	-41.675		
1.5	-62.4	61.2	-61.2	62.3	-61.775		
2	-82.9	81.2	-81.2	82.7	-82		
2.5	-102.5	100.5	-100.5	102.3	-101.45		
3	-121.7	119.3	-119.3	121.5	-120.45		

绘制 $U_H - I_s$ 曲线知 $k = -39.796$ $R_H = \frac{dk}{CI_m} = -4.0374 \times 10^{-7}$ $n = \frac{1}{R_H e} = -1.53924 \times 10^{25}$

(2) 接入温控电源, 测试P型霍尔组件载流子浓度 n 随温度变化规律曲线。

霍尔片厚度 $d = 500 \mu\text{m}$ 保持 $I_s = 1 \text{ mA}$, $I_m = 1000 \text{ mA}$, 测量以下数据, 计算各温度的 n , 绘制 $n - t$ 曲线

$T (^\circ\text{C})$	$U_1 (\text{mV})$ +B, + I_s	$U_2 (\text{mV})$ -B, + I_s	$U_3 (\text{mV})$ -B, - I_s	$U_4 (\text{mV})$ +B, - I_s	$U_H (\text{mV})$	$n (\text{m}^{-3})$
-10	0.41	-0.86	0.44	-0.82	0.6325	2.42E+21
-5	0.45	-0.86	0.49	-0.82	0.655	2.34E+21
0	0.55	-0.82	0.59	-0.77	0.6825	2.24E+21
20	0.74	-0.67	0.81	-0.66	0.72	2.13E+21
40	0.84	-0.57	0.95	-0.49	0.7125	2.15E+21
60	1.07	-0.33	1.13	-0.27	0.7	2.19E+21
80	1.31	-0.08	1.33	-0.06	0.695	2.20E+21
100	1.57	0.2	1.54	0.17	0.685	2.24E+21
120	1.91	0.56	1.71	0.35	0.6775	2.26E+21
130	2.1	0.76	1.78	0.44	0.67	2.29E+21

$n = \frac{I_s B}{U_H e d}$ 分别计算出 n 。

(3) 断开电源, 整理实验器材。



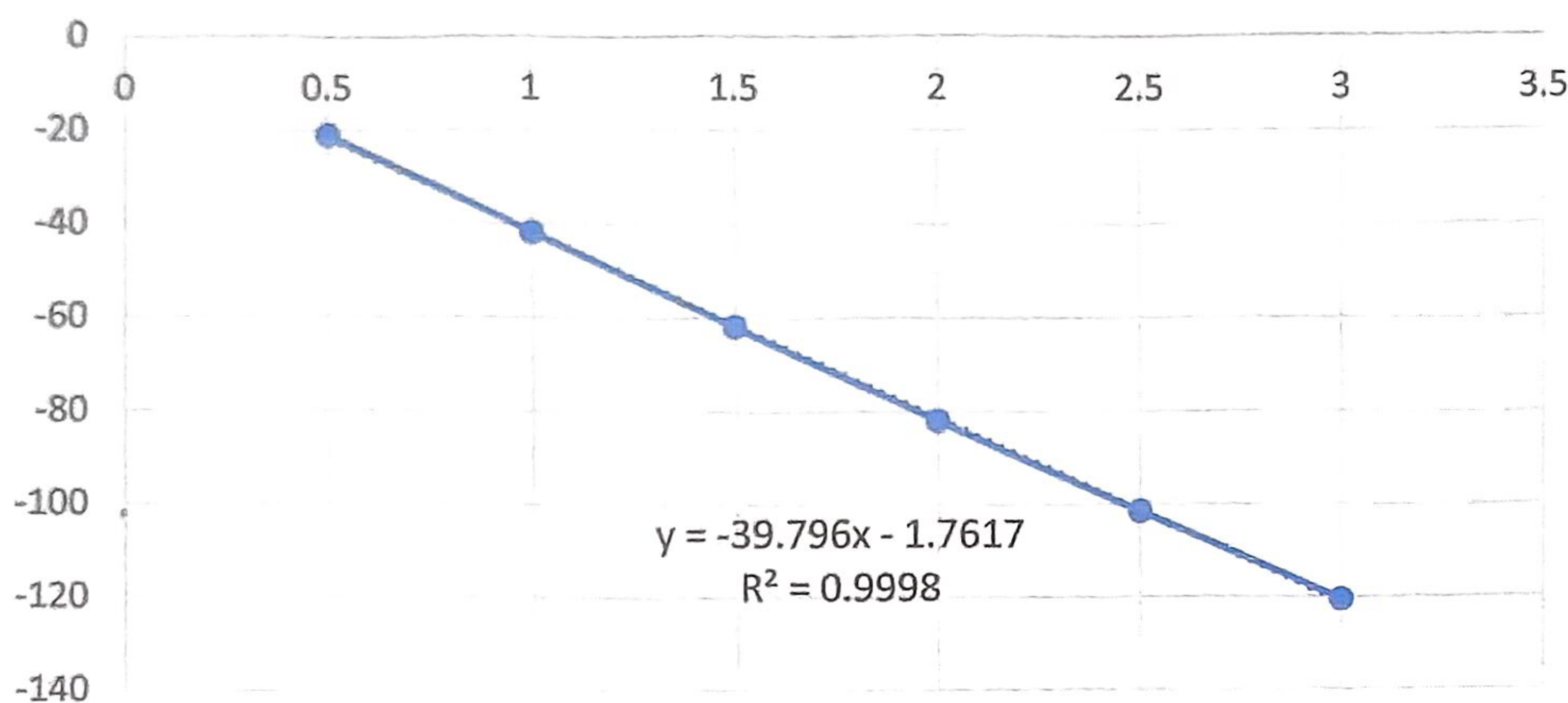
Quark 夸克
高清扫描 还原文档

实验数据处理 线圈参数 $C = 246.4 \text{ (mT/A)}$ $B = C \cdot I_m$

N型组件: $I_m = 400 \text{ mA}$ $d = 10 \mu\text{m}$ $B = 98.56 \text{ (mT)}$

$$R_H = \frac{dR}{C I_m} \quad n = \frac{1}{R_H e} \quad V_H = \frac{1}{4} (V_1 - V_2 + V_3 - V_4) \quad e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ (C)}$$

$U_H - I_S$ 关系曲线



由 $U_H - I_S$ 关系曲线知

$$k = -39.796$$

$$\text{故 } R_H = -4.03774 \times 10^{-7}$$

$$\text{故 } n = -1.53924 \times 10^{25}$$

$I_S = 0.5 \text{ (mA)}$ $U_H = -21.075 \text{ (mV)}$ $I_S = 1 \text{ (mA)}$ $U_H = -41.675 \text{ (mV)}$ $I_S = 1.5 \text{ (mA)}$ $U_H = -61.775 \text{ (mV)}$

$I_S = 2 \text{ (mA)}$ $U_H = -82.000 \text{ (mV)}$ $I_S = 2.5 \text{ (mA)}$ $U_H = -101.45 \text{ (mV)}$ $I_S = 3 \text{ (mA)}$ $U_H = -120.45 \text{ (mV)}$

P型组件 $I_m = 1000 \text{ mA}$ $I_S = 0.5 \text{ mA}$ $d = 500 \mu\text{m}$ $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ (C)}$

$$n = \frac{I_S B}{U_H e d} \quad V_H = \frac{1}{4} (V_1 - V_2 + V_3 - V_4)$$

$T = -10^\circ\text{C}$ $U_H = 0.632 \text{ (mV)}$ $n = 2.42 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ $T = -5^\circ\text{C}$ $U_H = 0.655 \text{ (mV)}$ $n = 2.34 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$

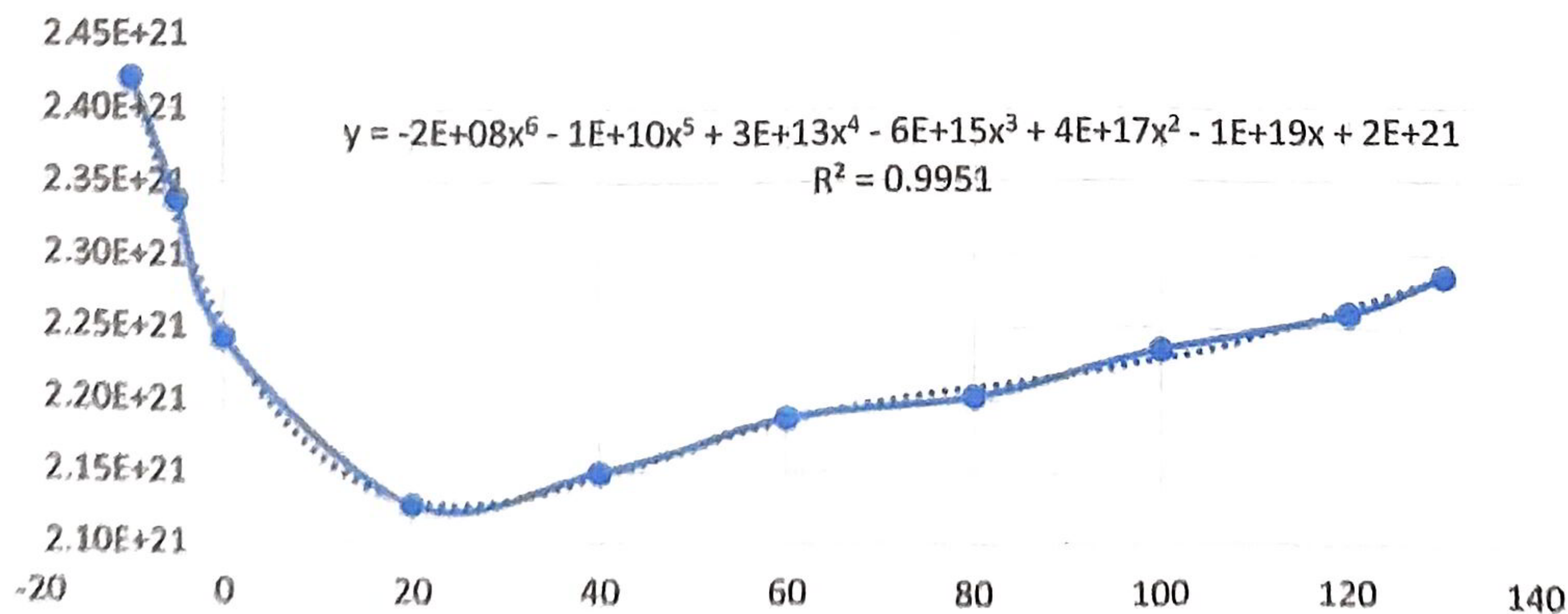
$T = 0^\circ\text{C}$ $U_H = 0.682 \text{ (mV)}$ $n = 2.24 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ $T = 20^\circ\text{C}$ $U_H = 0.72 \text{ (mV)}$ $n = 2.13 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$

$T = 40^\circ\text{C}$ $U_H = 0.712 \text{ (mV)}$ $n = 2.15 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ $T = 60^\circ\text{C}$ $U_H = 0.7 \text{ (mV)}$ $n = 2.19 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$

$T = 80^\circ\text{C}$ $U_H = 0.695 \text{ (mV)}$ $n = 2.20 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ $T = 100^\circ\text{C}$ $U_H = 0.685 \text{ (mV)}$ $n = 2.24 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$

$T = 120^\circ\text{C}$ $U_H = 0.678 \text{ (mV)}$ $n = 2.26 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ $T = 130^\circ\text{C}$ $U_H = 0.67 \text{ (mV)}$ $n = 2.29 \times 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}$

P型组件 $n - t$ 关系曲线



Quark 夸克
高清扫描 还原文档

实验结论

- (1) 在室温下, N型组件中, 随着工作电流 I_x 增大, 霍尔电压对度应增大。
- (2) 在 I_x, I_m 不改变的情况下, P型组件, 随着温度的升高, 通过的载流子的浓度先下降后升高。
- (3) 学习了用“抵消法”消除副效应的影响, 测量了试样的 $U_H - I_x$ 和 $I_H - t$ 曲线并计算霍尔系数。

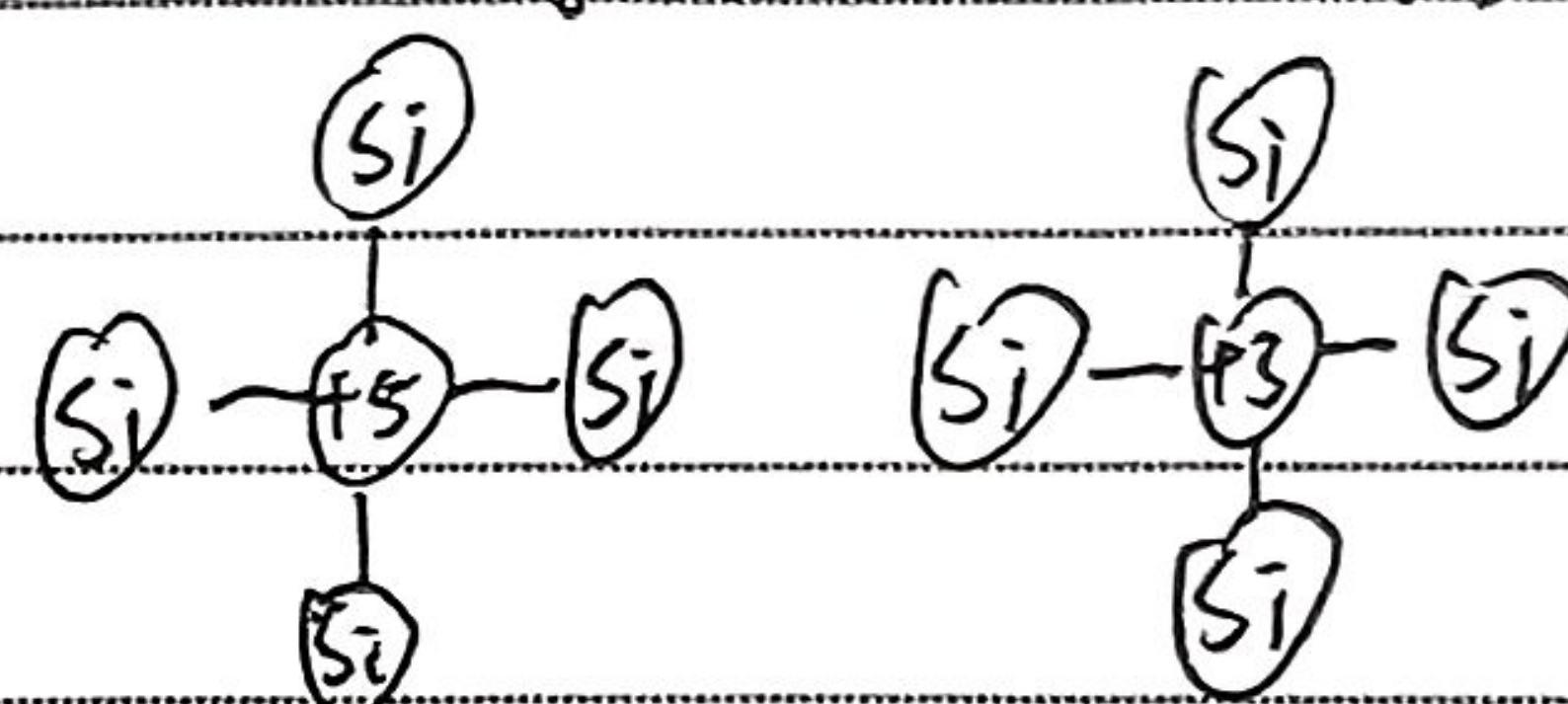
实验讨论

(1) 霍尔元件的基本工作原理。

当电流通过金属薄片时, 若在垂直于电流方向施加磁场, 则金属薄片两侧面会出现横向电势差, 导体中的霍尔效应更加明显。

N型半导体: 掺5价元素, 多一个电子成为自由电子。

P型半导体: 掺3价元素, 少一个电子形成空穴。



(2) 误差分析:

① 系统误差: 由于地磁存在, 会产生一定系统误差, 在实验中会产生其他副效应(不等位效应, 爱庭霍尔效应, 里纪-勒杜克效应, 能斯特效应)

② 随机误差: 电流不稳定, 温度不恒定。

(3) 霍尔元件的保护:

① 正确连接线路, 避免励磁电流误接入霍尔元件导致霍尔元件断裂。

② 严格执行实验要求, 在实验前应先将各电位器旋钮逆时针旋到底(最小值)并将换向开关置于空挡, 实验时按实验要求设置工作电流及励磁电流。

③ 实验结束后应及时关闭或将电流调至最小值。

(4) 霍尔效应的应用

霍尔开关器件: 以磁场为工作媒体, 将物体的运动量转换为数字电压的形式, 使之具备传感和开关的功能, 可制成霍尔齿轮传感器作为转速传感器。

旋转传感器: 磁铁每通过霍尔电路一次, 便输出一个电压脉冲, 可对转速、角速度等进行测量。

霍尔位移传感器: 优点: 惯性小, 响应快, 工作可靠, 寿命长。

霍尔液体传感器: 优点: 无接触、非接触传感, 且不会产生火花, 可实现远距离测量。



思考题

(1) 产生霍尔效应应具备哪些条件?

半导体或导体, 沿 z 方向的磁场 B , 沿 x 方向的电流 I 。

(2) 简述怎样利用 I , B 方向及 U_H 极性判断试样的导电类型。

当 I 与 B 均为正方向时, 若 U 大于 0 则为 N 型, 反之则为 P 型。

(3) 若磁场 B 不与霍尔片的法线方向一致, 对测量结果有何影响?

若磁场方向不与法线一致, 则实际的磁场强度只是一个沿霍尔片法线的一个分量, 即 $B' = B \cdot \cos\theta$, 故实际的磁感应强度偏小, 使测得的 U_H 偏小。

(4) 能否用霍尔元件测量交变磁场, 怎样测量?

可以, 使用线性霍尔元件, 对其施加激励, 放置在交变磁场中, 其输出电势就反映了与激励电流垂直的磁场强度分量的大小和极性。



原始记录 ~~实验~~ $N = 1616 \text{ 个}$

线电阻 $246.4 \text{ m}\Omega/\text{A}$

$I_m = 400 \text{ mA}$

N 型

$d = 1 \mu\text{m}$

I_s/mA	$U_1(\text{mV})$ $+B + I_s$	$U_2(\text{mV})$ $-B + I_s$	$U_3(\text{mV})$ $-B - I_s$	$U_4(\text{mV})$ $+B - I_s$
0.5	-21.3	20.9	-20.9	21.2
1	-42.1	41.3	-41.3	42.0
1.5	-62.4	61.2	-61.2	62.3
2	-82.9	81.2	-81.2	82.7
2.5	-102.5	100.5	-100.5	102.3
3	-121.7	119.3	-119.3	121.5

$I_s = 0.5 \text{ mA}$

$I_m = 1000 \text{ mA}$ P 型

$d = 500 \mu\text{m}$

$T/^\circ\text{C}$	$U_1(\text{mV})$ $+B + I_s$	$U_2(\text{mV})$ $-B + I_s$	$U_3(\text{mV})$ $-B - I_s$	$U_4(\text{mV})$ $+B - I_s$
-10	0.35	-0.85	0.39	-0.80
-5	0.41	-0.86	0.44	-0.82
0	0.45	-0.86	0.49	-0.82
10	0.55	-0.82	0.59	-0.77
30	0.74	-0.67	0.81	-0.60
40	0.84	-0.57	0.95	-0.49
60	1.07	-0.33	1.13	-0.27
80	1.31	-0.08	1.33	-0.06
100	1.57	0.20	1.54	0.17
120	1.91	0.56	1.71	0.35
130	2.10	0.76	1.78	0.44

第 4.20'



Quark 夸克

高清扫描 还原文档